



2874
#6/5/3/02

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
In re Patent Application of:
Masamichi Fujiwara et al.
Serial No: 09/900,613
Filed: July 6, 2001
For: MULTI-WAVELENGTH GENERATING METHOD AND APPARATUS BASED ON
FLATTERING OF OPTICAL SPECTRUM
P/3241-18
AUG 30 2001
RECEIVED
TELETYPE MAIL ROOM

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

In accordance with 35 U.S.C. §119, Applicant confirms the prior request for priority under the International Convention and submits herewith the following document in support of the claim:

Certified Japanese Application No.
2000-207475 Filed July 7, 2000 and
2000-207494 Filed July 7, 2000 and
2000-218424 Filed July 19, 2000 and
2000-266125 Filed September 1, 2000

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the U.S. Postal Service as first class mail in an envelope addressed to Commissioner of Patents and Trademarks, Washington, D.C. 20231 on August 23, 2001:

Respectfully submitted,

Samuel H. Weiner

Name of applicant, assignee or
Registered Representative

Signature

August 23, 2001

Date of Signature

Samuel H. Weiner

Registration No.: 18,510

OSTROLENK, FABER, GERB & SOFFEN, LLP

1180 Avenue of the Americas

New York, New York 10036-8403

Telephone: (212) 382-0700

SHW:dr1



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月 7日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-207475

出 願 人

Applicant(s):

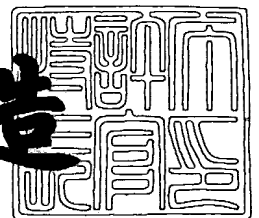
日本電信電話株式会社

RECEIVED
AUG 30 2001
TC-2800 MAIL ROOM

2001年 8月 3日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3067825

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH116990

【提出日】 平成12年 7月 7日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/01
G02F 2/00
G05D 25/00

【発明の名称】 光スペクトル平坦化方法及びその装置

【請求項の数】 14

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 荒谷 克寛

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 手島 光啓

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 藤原 正満

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

 【氏名】 鈴木 謙一

【特許出願人】

 【識別番号】 000004226

 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077481

【弁理士】

【氏名又は名称】 谷 義一

【選任した代理人】

【識別番号】 100088915

【弁理士】

【氏名又は名称】 阿部 和夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013424

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701393

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スペクトル平坦化方法及びその装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】

離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差を抑制する方法であって、

離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与えて出力する第1の工程と、

前記第1の工程で得られた出力光の離散光スペクトルを周波数軸上で偏移する第2の工程と、

前記第2の工程の周波数偏移量を調節することにより前記各モードのパワーレベル偏差を制御する第3の工程と

を有することを特徴とする光スペクトル平坦化方法。

【請求項2】 前記第1の工程において、単一波長光源から出力した連続光の振幅または位相を変調する変調器を用いることを特徴とする請求項1に記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項3】 前記第1の工程において、繰り返しパルス光を出力するパルス光源または光パルス出力回路を用いることを特徴とする請求項1に記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項4】 繰り返し周波数 f 、パルス幅（もしくは半値全幅） t_0 の光が、 $t_0 \ll (1/f)$ の関係にあるとき、前記第1の工程において光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅） t_0 を伸張することを特徴とする請求項3に記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項5】 前記光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅） t_0 を伸張する手段として分散媒質を用いることを特徴とする請求項4に記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項6】 前記第2の工程において、前記離散光スペクトルからなる時間波形の振幅または位相を変調する変調器を用いることを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項 7】 前記振幅または位相を変調する変調器が、発振器から特定の周波数で出力される信号電圧によって駆動されることを特徴とする請求項 6 に記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項 8】 前記発振器からの信号電圧が正弦波であることを特徴とする請求項 7 に記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項 9】 前記第 2 の工程において位相変調器を用いた場合、前記第 3 の工程において変調指数を変えることで前記周波数偏移量を調節することを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項 10】 前記第 3 の工程において、発振器からの出力信号を逡倍器または分周器により変調周波数を逡倍または分周することで、前記周波数偏移量を調節することを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項 11】 前記第 3 の工程において、位相調整器により変調器を駆動する変調信号の位相をシフトすることで、各モード間のレベル偏差量を調節することを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項 12】 単一波長の連続光の振幅または位相を変調する変調器 A と、該変調器 A から出力した変調波の振幅または位相を変調する変調器 B との組み合わせが、全ての場合について成り立つことを特徴とする請求項 3 ないし 6 のいずれかに記載の光スペクトル平坦化方法。

【請求項 13】 離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差を抑制する装置であって、

離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与えて出力する第 1 の手段と、

前記第 1 の手段で得られた出力光の離散光スペクトルを周波数軸上で偏移する第 2 の手段と、

前記第 2 の手段で行う周波数偏移量を調節することにより前記各モードのパワーレベル偏差を制御する第 3 の手段と

を有することを特徴とする光スペクトル平坦化装置。

【請求項 14】 離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差

を抑制する装置であって、

中心周波数 f_c の光パルスを繰り返し周波数 f で出力する光パルス光源により
離散光スペクトルを発生する第 1 の手段と、

前記光パルス光源から出力した光パルスのパルス幅を伸張させる第 2 の手段と

前記第 2 の手段により伸張したパルスに対し少なくとも $\Omega \geq f$ の周波数 Ω で振
幅変調、または位相変調を与える第 3 の手段と

を有することを特徴とする光スペクトル平坦化装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、スペクトルスライスによる多波長一括発生技術に関し、特に離散光
スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差の解消を目指して光スペク
トルの平坦化を行う光スペクトル平坦化方法及び光スペクトル平坦化装置に関する

【0002】

【従来の技術】

従来、スペクトルスライスによる多波長一括発生法において、広帯域光源とし
て繰り返し短光パルスを利用したものと、光増幅器から出力する ASE (amplif
ied spontaneous emission: 増幅自然放出) 光を利用したものがある。一般に
、スライス後の各波長チャンネル間には、パワーレベル偏差が生じる。システム設
計上、各波長チャンネル間のパワーレベルは等しい方が望ましい。このパワーレベ
ル偏差を解消する手段、すなわち光スペクトルの平坦化を行う手法が幾つか報告
されている。

【0003】

例えば、短光パルスに対しては、非線形ファイバ透過によるスーパーコンティニ
ューム(supercontinuum)による広帯域スペクトル発生に伴う光スペクトル平坦化
の手法が報告されている(参考文献 1: S. Kawanishi et al. "3 T bit/s (160
G bit/s \times 19 channel) optical TDM and WDM transmission experiment" ELECTR

ONICS LETTERS 13th May 1999 Vol. 35 No.10 pp.826-827)。

【0004】

また、逆特性を持つ光フィルタを用いたパワーレベル偏差抑制により平坦化を行う手法も報告されている（参考文献2：Kyo Inoue et al. "Tunable Gain Equalization Using a Mach-Zehnder Optical Filter in Multistage Fiber Amplifiers" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY Vol. 3, No.8, August 1991 pp.718-720）。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のようなスーパーコンティニューム発生に伴う平坦化においては、用いられる非線形ファイバは、与えられた種パルスのスペクトルが広帯域かつ平坦となるように、屈折率プロファイルとファイバ長が設計される。そのため、得られる光スペクトル形状はその非線形ファイバの特性で決まってしまう、各モードのパワーレベル偏差を動的に制御することができなかった。

【0006】

また、上記のような逆特性をもつ光フィルタによる平坦化においては、光フィルタ透過後の光スペクトルの形状がその光フィルタのもつ透過特性によって決定され、レベル間偏差の制御ができなかった。

【0007】

本発明の目的は、このような従来技術の課題を解消し、構成が簡単かつ、低コストで、離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差の制御を可能とした、光スペクトル平坦化方法及び光スペクトル平坦化装置装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項1の発明は、離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差を抑制する方法であって、離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与えて出力する第1の工程と、前記第1の工程で得られた出力光の離散光スペクトルを周波数軸上で偏移する第2の工程と、前記第2の

工程の周波数偏移量を調節することにより前記各モードのパワーレベル偏差を制御する第3の工程とを有することを特徴とする。

【0009】

ここで、前記第1の工程において、単一波長光源から出力した連続光の振幅または位相を変調する変調器を用いることを特徴とすることができる。

【0010】

また、前記第1の工程において、繰り返しパルス光を出力するパルス光源または光パルス出力回路を用いることを特徴とすることができる。

【0011】

また、離散光スペクトルの各モードに一定の相関を与える手段に、繰り返し周波数 f の光パルスを用いる手段であって、光パルスの半値全幅 t_0 と繰り返し周波数 f との関係が、 $t_0 \ll (1/f)$ であるとき、前記第1の工程において、光パルスのパルス幅（半値全幅） t_0 を伸張することを特徴とすることができる。ここで、光パルスのパルス幅を伸張させる手段として分散媒質を用いることができる。

【0012】

また、前記第2の工程において、前記離散光スペクトルからなる時間波形の振幅または位相を変調する変調器を用いることを特徴とすることができる。

【0013】

また、前記振幅または位相を変調する変調器が、発振器から特定の周波数で出力される信号電圧によって駆動されることを特徴とすることができる。

【0014】

また、前記発振器からの信号電圧が正弦波であることを特徴とすることができる。

【0015】

また、前記第2の工程において位相変調器を用いた場合、前記第3の工程において変調指数を変えることで前記周波数偏移量を調節することを特徴とすることができる。

【0016】

また、前記第3の工程において、発振器からの出力信号を逡倍器または分周器により変調周波数を逡倍または分周することで、前記周波数偏移量を調節することを特徴とすることができる。

【0017】

また、前記第3の工程において、位相調整器により変調器を駆動する変調信号の位相をシフトすることで、各モード間のレベル偏差を調節することを特徴とすることができる。

【0018】

また、単一波長の連続光の振幅または位相を変調する変調器Aと、該変調器Aから出力した変調波の振幅または位相を変調する変調器Bとの組み合わせが、全ての場合について成り立つことを特徴とすることができる。

【0019】

上記目的を達成するため、請求項13の発明は、離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差を抑制する装置であって、離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与えて出力する第1の手段と、前記第1の手段で得られた出力光の離散光スペクトルを周波数軸上で偏移する第2の手段と、前記第2の手段で行う周波数偏移量を調節することにより前記各モードのパワーレベル偏差を制御する第3の手段とを有することを特徴とする。

【0020】

上記目的を達成するため、請求項14の発明は、離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差を抑制する装置であって、中心周波数 f_c の光パルスを繰り返し周波数 f で出力する光パルス光源により離散光スペクトルを発生する第1の手段と、前記光パルス光源から出力した光パルスのパルス幅を伸張させる第2の手段と、前記第2の手段により伸張したパルスに対し少なくとも $\Omega \geq f$ の周波数 Ω で振幅変調、または位相変調を与える第3の手段とを有することを特徴とする。

【0021】

本発明では、上記構成により、離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与えて出力し、その出力光の離散光スペクトルを周波数軸上で偏移し、その

周波数偏移量を調節するようにしたので、構成が簡単かつ、低コストで、離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差の制御が可能である。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0023】

〔基本構成：その1〕

まず、本発明の基本構成について説明する。

【0024】

図1は本発明の第1の態様による光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成例を示す。この光スペクトル平坦化装置は、単一波長を出力する連続光光源101と、その出力光の時間波形の振幅または位相を変調することで、その出力光の離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与えて出力する変調器102と、この変調器102から出力した変調波の振幅または位相を変調することで、その変調波の離散光スペクトルを周波数軸上で上下側波帯に偏移し、その周波数偏移量を調節することにより上記各モードのパワーレベル偏差を制御する変調器103とから構成される。

【0025】

（基本的な作用）

図2は上記変調器102、103の変調による光スペクトルシフトを原理とする光スペクトル平坦化の様子を示す。まず、変調器102により、離散光スペクトルの各モード間の位相に一定の相関を与えた離散光スペクトルを生成する。このとき、各モードの振幅はそれぞれ任意な値をもってもよい（図2の（A））。この離散光スペクトルの帯域（ $2f_m$ ）の中心にある周波数を f_c 、また各モードの位相を θ_n （ $n=0, 1, 2, \dots$ ）とする。今、簡単のために、またモード間隔を等間隔（ Δf ）とする。

【0026】

この各モードの位相が θ_n である離散スペクトルから構成される時間波形に対し、変調器103により、周波数 f で振幅または位相変調を行う。このとき、周

波数軸上で、中心周波数 f_c を中心に上下側波帯の $\pm f$ の位置に離散光スペクトルが偏移する（図 2 の（B））。

【0027】

周波数偏移量が $f < 2 f_m$ とすると、 f_c に位置するスペクトルと上下側波帯に $\pm f$ に偏移した光スペクトル同士が重なりあう（図 2 の（C））。特に、 $f = n \times \Delta f$ とすることで、各モードは重なりうる。今、周波数 ν の位置で複数のモードが重なり合う場合を考える。重なり合う各モードの振幅を A_m 、位相を θ_m ($m=1, 2, \dots$) とすると、各モードの電界は、

$E_m(t) = \beta_m \times \exp(j 2 \pi \nu t)$ で与えられる。ただし、

$\beta_m = A_m \times \exp\{j(\theta_m)\}$ である。 $E_m(t)$ の実部を横軸、虚部を縦軸にとると、複素平面上（振幅位相図）での二次元ベクトルとみなせ、周波数 ν での重なりは、各モードの二次元ベクトルの合成として与えられる（図 2 の（D）：簡単のため、周波数 ν で重なり合うモード数を 2 つの場合を示している）。ここで、各モードの位相 θ_m がランダムに変動しているとすると、合成波は、複素平面上をランダムに動き回り、位相、振幅共に出力は不安定となる。

【0028】

一方、各モードの位相に相関がある場合、例えば各モードの位相 θ_m が同位相 ($\theta_m = \theta_0$) とすると、このときの合成波は単に振幅の足し算になり（図 2 の（E））、合成された振幅は全ての時刻において一定となる。このため、安定した出力を得るためには、各モードの位相に一定の相関を与えることが必要となる。

【0029】

〔基本構成：その 2〕

本発明の第 2 の態様は、上記の第 1 の工程において、繰り返しパルス光を出力するパルス光源または光パルス出力回路を用いる構成である。

【0030】

図 3 はこの本発明の第 2 の態様の特殊例としての光スペクトル平坦化装置の構成を示す。この装置は、パルス幅（もしくは半値全幅） t_0 の光パルスを、 $t_0 \ll (1/f)$ なる繰り返し周波数 f で出力するパルス光源もしくは光パルス発生

回路 1 1 2 と、パルス光源もしくは光パルス発生回路 1 1 2 を駆動する発振器 1 1 1 と、パルス光のパルス幅（もしくは半値全幅）を伸張するパルス伸張器 1 1 3 からなる第 1 の工程の構成部分と、次の第 2 の工程においてその伸張した光パルスに変調周波数 f' で振幅変調もしくは位相変調を与える変調器 1 1 4 とから構成される。また、変調器 1 1 4 は上記発振器 1 1 1 と同期する。

【 0 0 3 1 】

（基本的な作用）

本発明の上記態様は、光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅） t_0 と繰り返し周波数 f との関係が、 $t_0 \ll (1/f)$ である光パルスに対する光スペクトル平坦化手法である。このとき、光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅）が繰り返し周期に比べて非常に小さいため、第 2 の工程で十分に変調をかけるためには、光パルスの繰り返し周波数よりも高速な変調周波数が要求される。このため、第 2 の工程の前で、光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅）を伸張させることで、繰り返し周波数と同じ程度の変調周波数で、上記第 1 の態様の第 2 の工程の効果と同程度の効果が与えられる。この第 2 の態様は、特に光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅）が数 psec（ピコ秒）以下であるような広帯域なスペクトルをもつ繰り返し光パルスに対して有効である。

【 0 0 3 2 】

〔基本構成：その 3〕

図 4 は本発明の第 2 の態様の変形による利得飽和媒質を利用した光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成例を示す。この装置は、繰り返し周波数 f で光パルスを出力するパルス光源もしくは光パルス発生回路 1 1 2 と、パルス光源もしくは光パルス発生回路 1 1 2 を駆動する発振器 1 1 1 と、パルス光源もしくは光パルス発生回路 1 1 2 から出力する光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅）を伸張する分散媒質 1 2 3 と、分散媒質 1 2 3 から出力する光パルスのピークパワーに対して飽和出力を与える利得飽和媒質 1 2 4 とから構成される。

【 0 0 3 3 】

次に、本発明のさらに具体的な実施形態を詳細に説明する。

【 0 0 3 4 】

【第 1 の実施形態】

本発明の第 1 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図 5 に示す。この光スペクトル平坦化装置は、各モードの位相に一定の相関を付与した離散光スペクトルを発生する工程を実行する、単一角周波数 ωc の連続光を出力する CW（連続波、持続波）光源 2 0 1 および発振器 2 0 2 から出力される周波数 Ω の正弦波信号で駆動される振幅変調器 3 0 3 と、離散光スペクトルを周波数軸上で偏移させる工程を実行する、発振器 2 0 2 と同期した振幅変調器 2 0 4 とから構成される。

【0 0 3 5】

CW 光源 2 0 1 からの出力光を

【0 0 3 6】

【数 1】

$$f(t) = A \cos(\omega c t + \phi) \quad \dots (1)$$

とする。ここで、 ωc は搬送角周波数、 ϕ は初期位相である。

【0 0 3 7】

この連続光が振幅変調器 2 0 3 により変調周波数 Ω で振幅変調を受けると、

【0 0 3 8】

【数 2】

$$f_{am}(t) = A \{1 + \cos(\Omega t)\} \cos(\omega c t + \phi) \quad \dots (2)$$

となり、変調波のスペクトル $F_{am}(\omega)$ は、

【0 0 3 9】

【数 3】

$$F_{am}(\omega) = \pi A [\delta(\omega - \omega c) + \delta(\omega - \omega c - \Omega)/2 + \delta(\omega - \omega c + \Omega)/2] \quad \dots (3)$$

となり搬送角周波数 ωc から $\pm \Omega$ だけ離れた位置に上下側波帯が形成される。ここで、 $\delta(x)$ は、デルタ関数である。このとき、側波帯の各モードは発振器 2 0 2 と同期しているため搬送波と同位相となり、各モード間の位相には相関が与えられる。

【0 0 4 0】

さらに、振幅変調器 2 0 4 による振幅波形は、

【0 0 4 1】

【数 4】

$$g_{am}(t) = A \cos(\Omega t) \quad \dots (4)$$

となり、その振幅変調器 2 0 4 の最終的な出力は、

【0 0 4 2】

【数 5】

$$f_{out}(t) = f_{am}(t) \times g_{am}(t) \quad \dots (5)$$

となる。このときのスペクトル $F(\omega)$ は、 $f_{am}(t)$ 、 $g_{am}(t)$ のスペクトルをそれぞれ $F_{am}(\omega)$ 、 $G_{am}(\omega)$ とすると、畳み込み $[F_{am}(\omega) * G_{am}(\omega)] / 2\pi$ で与えられ、

【0 0 4 3】

【数 6】

$$F(\omega) = (\pi A/2) [\delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c + \Omega) + \delta(\omega - \omega_c - \Omega) + \delta(\omega - \omega_c + 2\Omega)/2 + \delta(\omega - \omega_c - 2\Omega)/2] \quad \dots (6)$$

となる。

【0 0 4 4】

このように振幅変調することで、図 6 の (B)、(C) に示すように、離散光スペクトルは $\pm \Omega$ だけ偏移する。この結果、 Ω だけ偏移した離散光スペクトルと $-\Omega$ だけ偏移した離散光スペクトルの各モードは ω_c 、 $\omega_c \pm \Omega$ 、 $\omega_c \pm 2\Omega$ で重なり合い、各モードのレベル偏差を抑えた光スペクトルを出力することができる。

【0 0 4 5】

〔第 2 の実施形態〕

本発明の第 2 の実施形態ある光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図 7 に示す。この光スペクトル平坦化装置は、離散光スペクトルを偏移させる手段として、図 5 の振幅変調器 2 0 4 の代わりに、発振器 2 0 2 に同期した位相変調器 2 1 4 を用いる。この位相変調器 2 1 4 は、位相変調において変調指数を変えることで、周波数偏移量を変えることができる。その他の構成は、図 5 の第 1 の実施形態と同様である。

【0046】

[第3の実施形態]

本発明の第3の実施形態である光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図8に示す。この光スペクトル平坦化装置では、各モードの位相が一定の相関をもつ離散光スペクトルを発生させる手段がCW光源201と位相変調器223から構成され、また離散光スペクトルを周波数軸上で偏移させる手段が発振器202と同期した振幅変調器204から構成される。

【0047】

[第4の実施形態]

本発明の第4の実施形態である光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図9に示す。この光スペクトル平坦化装置では、離散光スペクトルを周波数軸上で偏移させる手段が、発振器202と同期した位相変調器から構成される。その他の構成は図8の第3の実施形態と同様である。

【0048】

[第5の実施形態]

本発明の第5の実施形態である光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図10に示す。この光スペクトル平坦化装置は、離散光スペクトルの偏移量を制御する手段として、発振器202から出力される駆動信号の周波数を通倍（または分周）させる通倍器（分周器）243を有する。変調器245は通倍器（分周器）243からの通倍（または分周）周波数に応じて離散光スペクトルを偏移させる偏移量を制御する。

【0049】

各モードの位相が一定の相関をもつ離散光スペクトルを発生させる手段である前段の変調器244は、図5、図7の振幅変調器203または図8、図9の位相変調器223、233であり、離散光スペクトルを偏移させる手段を構成する後段の変調器245は、図5、図8～8の振幅変調器204または図7の位相変調器214である。

【0050】

[第6の実施形態]

本発明の第6の実施形態である光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図11に示す。この光スペクトル平坦化装置は、離散光スペクトルの偏移量を制御する手段として、位相変調の変調指数を変える位相変調器214を有する。この位相変調器214により、変調指数がある一定以上である広帯域位相変調では、高次の側波帯が発生し、より大きな偏移量が得られる。その他の構成は図8の第3の実施形態と同様である。

【0051】

【第7の実施形態】

本発明の第7の実施形態である光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図12に示す。この光スペクトル平坦化装置は、離散光スペクトルの各モードのレベル偏差を制御する手段として、発振器202からの駆動信号の位相を制御する位相調整器255を有することを特徴とする。位相調整器255で位相制御された駆動信号が変調器204に与えられる。その他の構成は図8の第3の実施形態と同様である。

【0052】

具体例として、連続光の位相変調により各モード間の位相に一定の相関が付与された離散光スペクトルに対して、振幅変調による離散光スペクトルの偏移の場合を説明する。今、発振器202からの駆動信号を簡単のため正弦波とし、振幅変調器255に与える正弦波の位相を位相調整器255により制御する。このとき、位相変調器255への駆動信号に対して、 θ だけ位相を進めて振幅変調を与えるものとする。位相変調器255からの出力波形は、

【0053】

【数7】

$$f_{pm}(t) = \cos(\omega_c t + k \cos \Omega t) \quad \dots (7)$$

となる。ここで、 ω_c は搬送角周波数、 Ω は変調周波数、 k は変調指数を表す。

【0054】

また、振幅変調器255振幅の時間波形は、

【0055】

【数8】

$$m(t) = A(1 + \cos(\Omega t + \theta)) \quad \dots (8)$$

と表わすことができる。

【 0 0 5 6 】

従って、最終的な出力は、

【 0 0 5 7 】

【 数 9 】

$$f(t) = f_{pm}(t) \times f_{am}(t) \quad \dots (9)$$

で与えられる。このときのスペクトル $F(\omega)$ は、 $f_{pm}(t)$ 、 $f_{am}(t)$ のスペクトルをそれぞれ $F_{pm}(\omega)$ 、 $F_{am}(\omega)$ とすると、

【 0 0 5 8 】

【 数 1 0 】

$$F(\omega) = [F_{pm}(\omega) * F_{am}(\omega)] / 2\pi \quad \dots (10)$$

で与えられる。ここで、 $*$ は畳み込みを表す。

【 0 0 5 9 】

【 数 1 1 】

$$F(\omega) = \sum J_n \delta(\omega - \omega_c - n\Omega) \quad (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \dots (11)$$

ここで、 Σ は、 $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \pm \infty$ についての和を表わす。また、 J_n は各 n についての係数である。

【 0 0 6 0 】

簡単の為に、 $k \ll 1$ であるような狭帯域変調の場合、 $|n| = 3$ 以上は無視できるものとする。このときの各モードの振幅を示す。

【 0 0 6 1 】

【 数 1 2 】

$$J_0 = A\pi [1 + jk \cos \theta / 2]$$

$$J_{+1} = A\pi [\cos \theta + j(k + \sin \theta)] / 2$$

$$J_{-1} = A\pi [\cos \theta + j(k - \sin \theta)] / 2$$

$$J_{+2} = A\pi K \exp j(\theta + \pi / 2) / 4$$

$$J_{-2} = A\pi K \exp -j(\theta - \pi / 2) / 4$$

… (12)

このように、各モードの振幅は、図13に示すように、位相シフト量 θ に依存する。

【0062】

ここで、 θ の値を位相調節器255により変えることで、各モード間のレベル偏差を制御することができ、 $\theta=0$ 、 $\pi/2$ 、 $-\pi/2$ の場合を図14に示す。

【0063】

本実施形態では、離散光スペクトルの各モード間の位相に一定の相関を与える手段として位相変調器223を、スペクトルを偏移する手段として変調器204を例示したが、離散光スペクトルを発生させる手段として振幅変調器を用い、スペクトルを偏移する手段として位相変調器を用いる逆の構成をしても、上記と同様にモード間のレベル偏差制御を行うことが可能である。

【0064】

[第8の実施形態]

本発明の第8の実施形態であるスペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図15に示す。この光スペクトル平坦化装置は、発振器301から出力する周波数 f の正弦波信号で駆動される中心周波数が f_c の繰り返しパルス光源302と、発振器301に同期して振幅もしくは位相変調を与える変調器303とから構成されている。一般にある繰り返し周波数 f で出力される光パルス列は、各モードの位相間に一定の相関を持ったモード間隔 f の離散スペクトルを持つ。繰り返しパルス光源302からの中心周波数 f_c の光パルスに、変調器303により周波数 $\Omega=f$ で変調を与えることで、側波帯 $f_c \pm \Omega$ にスペクトルをシフトし、その結果、上下側波帯に移動した各スペクトル同士が重なることで、スペクトル形状を平坦とすることができる。

【0065】

いま、光パルスの包絡線の時間変化が、光の周期に比べて十分緩やかであるとすると、光パルスの電界振幅 $E(z, t)$ は、

【0066】

【数13】

$$E(z,t) = \text{Re} \{ U(z,t) \exp -i(\omega c t + \theta_0) \} \quad \dots (13)$$

【0067】

【数14】

$$U(z,t) = |U(z,t)| \exp \{ -i \theta(z,t) \} \quad \dots (14)$$

と表わすことができる。ここで、 $U(z,t)$ は、光パルスの包絡線、 $\omega c (= 2\pi f c)$ は中心角周波数、 θ_0 は初期位相である。

【0068】

まず、前述の第2の工程を行う手段として、振幅変調を考える。このとき、 $\theta(z,t) = \theta'$ (定数) とする。周波数 Ω の正弦波信号 $v(t) = \cos(2\pi\Omega t)$ により変調指数 k の振幅変調を乗じると、振幅変調波 $M(t)$ は、

【0069】

【数15】

$$\begin{aligned} M_m(t) &= \text{Re} [1 + kv(t)] \cdot E(z,t) \\ &= \text{Re} [1 + k \cos(2\pi\Omega t)] |U(z,t)| \exp \{ -i(2\pi f c t + \theta' + \theta_0) \} \\ &= |U(z,t)| \cos \{ (2\pi f c t + \theta' + \theta_0) \} \\ &\quad + k |U(z,t)| \cos \{ 2\pi (f c + \Omega) t + \theta' + \theta_0 \} / 2 \\ &\quad + k |U(z,t)| \cos \{ 2\pi (f c - \Omega) t + \theta' + \theta_0 \} / 2 \quad \dots (15) \end{aligned}$$

となる。このとき、周波数移動定理により側波帯 $f c \pm \Omega$ にスペクトルは偏移する。ここで、光パルスのスペクトルの最高周波数を f_m とすると、偏移したスペクトルが重なり合うためには、

【0070】

【数16】

$$2 f_m < \Omega \quad \dots (16)$$

でなければならない。この条件を満足するとき、シフトしたスペクトル同士が重なりあい、光スペクトルの形状を広帯域かつ平坦にすることが可能となる。

【0071】

また、繰り返し周波数 f の光パルスのスペクトルには、 f の間隔でモード発振しているため、各モードが重なり合うためには、 Ω は f と等しいか、もしくは、 f の通倍である必要がある。

【0072】

【数17】

$$\Omega = n \times f \quad (n: \text{自然数}) \quad \dots (17)$$

この条件は、パルス光源もしくは光パルス発生回路302を駆動する発振器と変調器303を駆動する発振器とで同期をとり、必要ならば通倍器（図示しない）により変調器303への駆動信号を通倍することで達成できる。

【0073】

変調器303として位相（周波数）変調器を用いた場合について以下に説明する。上記と同様に、周波数 Ω の正弦波信号 $v(t) = \cos(2\pi\Omega t)$ により変調指数 m の位相変調を乗じると、位相変調波 $M_{pm}(t)$ は、

【0074】

【数18】

$$\begin{aligned} M_{pm}(t) &= \operatorname{Re}\{|U(z, t)| \exp[-i2\pi(fct + mv(t) + \theta_0)]\} \\ &= \operatorname{Re}[1 + k \cos(2\pi\Omega t)] |U(z, t)| \exp\{-i(2\pi fct + \theta(z, t) + \theta_0)\} \\ &= |U(z, t)| \sum J_n(m) \cos\{2\pi(fct + n\Omega)t + \theta + \pi n/2 + \theta_0\} \quad \dots (18) \end{aligned}$$

となる。

【0075】

上式(18)により、位相変調においては、 $fc \pm n\Omega$ の位置に、大きさ $J_n(m)$ の上下側波帯が無限に生じることが分かる。このとき、上下側波帯に光パルスのスペクトルが偏移するため、結果として得られるスペクトルは、上下側波帯の位置にシフトしたスペクトルを重ね合わせたものになる。このときも各モードで重なりが生じるためには、 $\Omega = n \times f$ （ n ：自然数）である必要がある。

【0076】

以上のように、繰り返し周波数 f のパルス光の振幅、位相を、 $\Omega = n \times f$ の周波数で変調をおこなうことで、 $fc \pm \Omega$ の側波帯にスペクトルを偏移し、光スペクトルを重ね合わせるにより、広帯域化、平坦化が可能となる。

【0077】

本実施形態での上記の操作は、光パルス光源302から繰り返しパルスの生成により各モードの位相に一定の相関を与えた離散モードを発生させ、変調器30

3での変調操作により、その各縦モードを変調周波数分だけ偏移させて重ね合わせることで、各モードのパワーレベル偏差を制御できる。

【0078】

〔第9の実施形態〕

本発明の第9の実施形態であるスペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図16に示す。この光スペクトル平坦化装置は、発振器301から与えられる周波数 f で光パルスを出力するパルス光源302と、パルス光源302から出力した光パルスを伸張させるパルス伸張器314と、パルス伸張器314から出力した光パルスに対して、通倍器313により出力した通倍周波数で変調する振幅変調器315とから構成されている。パルス伸張器314として、例えば、シングルモードファイバ等の分散媒質、あるいは分散性を有する光機能回路等を用いることができる。

【0079】

前述の第8の実施形態での光スペクトル平坦化装置では繰り返し短光パルス、特に繰り返しが10GHzでパルス幅が数1ps程度の短光パルス（すなわちそのスペクトルが広帯域）に対して、上記の第2の工程の操作を行うためには、変調周波数に、約1THz（繰り返し周波数の100倍）以上の帯域が必要となる。このように、パルス幅 t_0 と、繰り返し周波数 f の間に $t_0 \ll (1/f)$ の関係にあるとき、現状の電気回路の変調帯域は、数10GHzであるため、上記の第2の工程の操作を行うのは技術的に多くの課題がある。これに対し、本実施形態の光スペクトル平坦化装置では、第1の工程において光パルスのパルス幅（もしくは半値全幅）を伸張させる手段を与えることで、第2の工程における変調周波数を低減化できる。このとき、繰り返し周波数 f と変調周波数 Ω の間には、 $f \leq \Omega$ の関係が必要である。

【0080】

特に、パルス伸張器314のパルス幅を伸張する媒質として、シングルモードファイバ等の分散媒質を用いることで、光パルスに線形チャープが付与されパルス幅は伸張する。

【0081】

今、繰り返し光パルス光源302からの出力した光パルスの時間分解分光像を図17に示す。この光パルスを分散媒質314に通すことで、図18に示すように、光パルスへ線形チャープが付与され、パルスのパルス幅（もしくは半値全幅）が広がる。

【0082】

分散媒質314を透過後の光パルスに対して、発振器301から出力される繰り返し周波数 f の正弦波電気信号により振幅変調器315を駆動し、線形チャープを受けた光パルスに振幅変調器315により振幅変化を与える。このとき、図19に示すように、光パルスの時間波形に振幅変調を与えることができる。

【0083】

また、発振器301から出力される信号波形の形状、変調指数、位相を変えることで、モード間のパワーレベル偏差を抑制することができる。

【0084】

[第10の実施形態]

本発明の第10の実施形態であるスペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図20に示す。この光スペクトル平坦化装置は、上記の第9の実施形態における形状操作した光スペクトルに振幅変化を与える振幅変調器315を光増幅器325で置き換えたものであり、これ以外の構成要素については、図16の構成と同様である。

【0085】

本実施形態での光スペクトル形状操作方法においても、上述した第9の実施形態における光スペクトル形状操作方法と同様に、光増幅器325により時間軸上での振幅変化を与えることで、スペクトル形状操作を行うことができる。

【0086】

また、本実施形態では、振幅変化を与える手段として光増幅器325を用いたので、パルスのエネルギー損失を抑えて、光スペクトルを平坦化することができる。

【0087】

さらに詳述すると、本実施形態の光スペクトル形状操作方法では、線形媒質3

4の透過により生じたチャープパルスを飽和領域にある光増幅器325へ入力する。飽和領域にある光増幅器325は、図21に示すように、低いパワーに対して大きな利得を与え、高いパワーに対しては小さな利得を与える。このため、図22の左側に示すように、チャープパルスの時間波形の立ち上がりと立下りでは利得が大きく、パルスの中心付近では利得が小さい。これより、図22の右側に示すように、光パルス波形は矩形状となり、光スペクトルは平坦となる。

【0088】

このように、本実施形態によれば、チャープパルスの時間波形操作の際にパルスのパワーの損失を抑え、光スペクトルの平坦化が可能となる。特に、パルス伸張器314として飽和出力を与える媒質を用い、光増幅器325の利得飽和領域へ光パルスを入力することで、パルスパワーの損失の少ない、光スペクトル平坦化装置が構成できる。

【0089】

なお、光パルス光源302、あるいは光パルス出力回路として、代表的なものに半導体型もしくはファイバリング型の能動型・受動型モードロックレーザが利用できる。

【0090】

[第11の実施形態]

本発明の第11の実施形態であるスペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を図23に示す。この光スペクトル平坦化装置では、分散媒質334で伸張したパルスに振幅変調を与える手段において位相調節器333を用いることで、発振器301から出力した変調信号の位相をシフトすることができる。位相をシフトした駆動信号を振幅変調器315に与えることにより、振幅変調器315において位相シフト量に応じて、変調後の光スペクトルの平坦度を調節することができる。

【0091】

[全体の処理の流れ]

図24のフローチャートは、上述した本発明の各実施形態に係わるパワーレベル偏差抑制方法を総括的に示す。

【0092】

まず、ステップS1では連続光へ変調周波数 f で変調（振幅しくは位相）することで、各モード間の位相に一定の相関を与えた離散光スペクトルを出力する。続いて、ステップS5に進む。

【0093】

一方、ステップS2は、繰り返し周波数 f のパルス光源を用いることで、各モード間の位相に一定の相関を持たせた離散光スペクトルを出力する。ここで、光パルスのパルス幅（半値全幅） t_0 に対して、 $t_0 \ll (1/f)$ であるか否かを判断して、肯定判断ならば次のステップS3で、パルス幅を伸張する手段をとりステップS4へ進む。また、否定判断ならば直ちにステップS5に進む。本発明は、ステップS1とS2のいずれを用いてもよい。

【0094】

ステップS4では、上記離散光スペクトルを変調周波数 Ω で変調（振幅もしくは位相）することで、上記離散光スペクトルを上下側波帯へ偏移する。次にステップS5に進む。

【0095】

ステップS5は、各モード間のレベル偏差を抑制する工程であり、次の処理を行う。

- (1) 変調周波数を通倍若しくは分周化する。
- (2) 変調指数を変える。
- (3) 変調信号の位相（タイミング）をシフトする。

【0096】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与え、離散光スペクトルを周波数軸上で偏移させ、その偏移量を制御するようにしたので、構成が簡単かつ、低コストで、離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差の制御（抑制）が可能である。

【0097】

特に、本発明の第1の態様によれば、発振器から出力したある一定の周波数 f

で連続光を出力するCW光源と、このCW光源からの連続光に対して周波数 Ω で変調することで、 $f \pm \Omega$ に各モード間の位相に相関が生じた上下側波帯が生じる。この変調波に対して、再び振幅もしくは位相変調を与えることで、離散光スペクトルを上下側波帯の位置に偏移する。このとき、光スペクトルの最大周波数を f_m とすると、 $f_m < f$ のとき光スペクトルの各モードが重なりあい、その結果、各モードのパワーレベル偏差を抑制することができる。

【0098】

また、本発明の第2の態様によれば、離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与える手段として繰り返しパルス光源を用いる。このとき、出力される光パルス列の繰り返し周波数 f とパルス幅（または半値全幅） t_0 との間に $t_0 \ll (1/f)$ の関係があるとき、パルス幅を伸張した後、振幅もしくは位相変調により上下側波帯に離散光スペクトルを偏移することができる。上記の操作は、パルス幅が1 ps程度以下の超短光パルスに対して、変調周波数を相対的に低減化できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の態様による光スペクトル平坦化方法を実現する装置の基本構成を示すブロック図である。

【図2】

本発明の第1の態様における変調による周波数偏移を原理とする光スペクトル平坦化の様子を示す特性図である。

【図3】

本発明の第2の態様によるパルス伸張による変調帯域の低減を図った光スペクトル平坦化装置の基本構成を示すブロック図である。

【図4】

本発明の第2の態様の変形による利得飽和媒質を利用した光スペクトル平坦化装置の基本構成を示すブロック図である。

【図5】

本発明の第1の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構

成を示すブロック図である。

【図 6】

本発明の第 1 の実施形態における位相変調による光スペクトルシフトを原理とする光スペクトル平坦化の様子を示す特性図である。

【図 7】

本発明の第 2 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】

本発明の第 3 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】

本発明の第 4 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 0】

本発明の第 5 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 1】

本発明の第 6 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 2】

本発明の第 7 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 3】

本発明の第 7 の実施形態における位相シフト量に対する各モードの振幅の関係を示すグラフである。

【図 1 4】

本発明の第 7 の実施形態における位相シフト量に伴う離散光スペクトルの変化を示す特性図である。

【図 1 5】

本発明の第 8 の実施形態におけるパルス光源を用いた光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 6】

本発明の第 9 の実施形態におけるパルス伸張による光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 7】

本発明の第 9 の実施形態における光パルスの時間分解光像の状態を示す波形図である。

【図 1 8】

本発明の第 9 の実施形態における線形チャープを受けた光パルスの状態を示す波形図である。

【図 1 9】

本発明の第 9 の実施形態における振幅変調によるスペクトル形状操作を説明する波形図である。

【図 2 0】

本発明の第 1 0 の実施形態における飽和利得媒質を用いた光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 2 1】

本発明の第 1 0 の実施形態における飽和領域での光パルスに対する利得を示す特性図である。

【図 2 2】

本発明の第 1 0 の実施形態における飽和領域での増幅過程を利用した光パルスの矩形化を示す特性図である。

【図 2 3】

本発明の第 1 1 の実施形態における光スペクトル平坦化方法を実現する装置の構成を示すブロック図である。

【図 2 4】

本発明の各実施形態に係わるパワーレベル偏差抑制方法を総括的に示すフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 0 1 連続光光源
- 1 0 2 変調器
- 1 0 3 変調器
- 1 1 1 発振器
- 1 1 2 光パルス光源
- 1 1 3 パルス伸張器
- 1 1 4 変調器
- 1 2 3 分散媒質
- 1 2 4 利得飽和媒質
- 2 0 1 CW光源（連続光光源）
- 2 0 2 発振器
- 2 0 3 振幅変調器
- 2 0 4 変調器
- 2 1 4 位相変調器
- 2 2 3 位相変調器
- 2 3 3 位相変調器
- 2 4 3 通倍器／分周器
- 2 4 4 変調器
- 2 4 5 変調器
- 2 5 5 位相変調器
- 3 0 1 発振器
- 3 0 2 光パルス光源
- 3 0 3 変調器
- 3 1 3 通倍器
- 3 1 4 パルス伸張器
- 3 1 5 振幅変調器
- 3 2 5 光増幅器
- 3 3 3 位相調節器

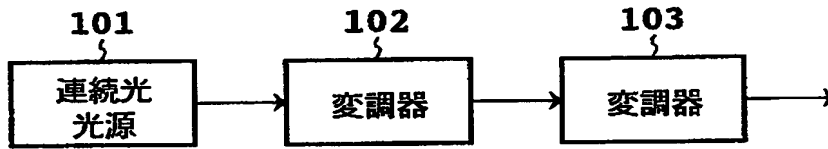
特2000-207475

334 分散媒質

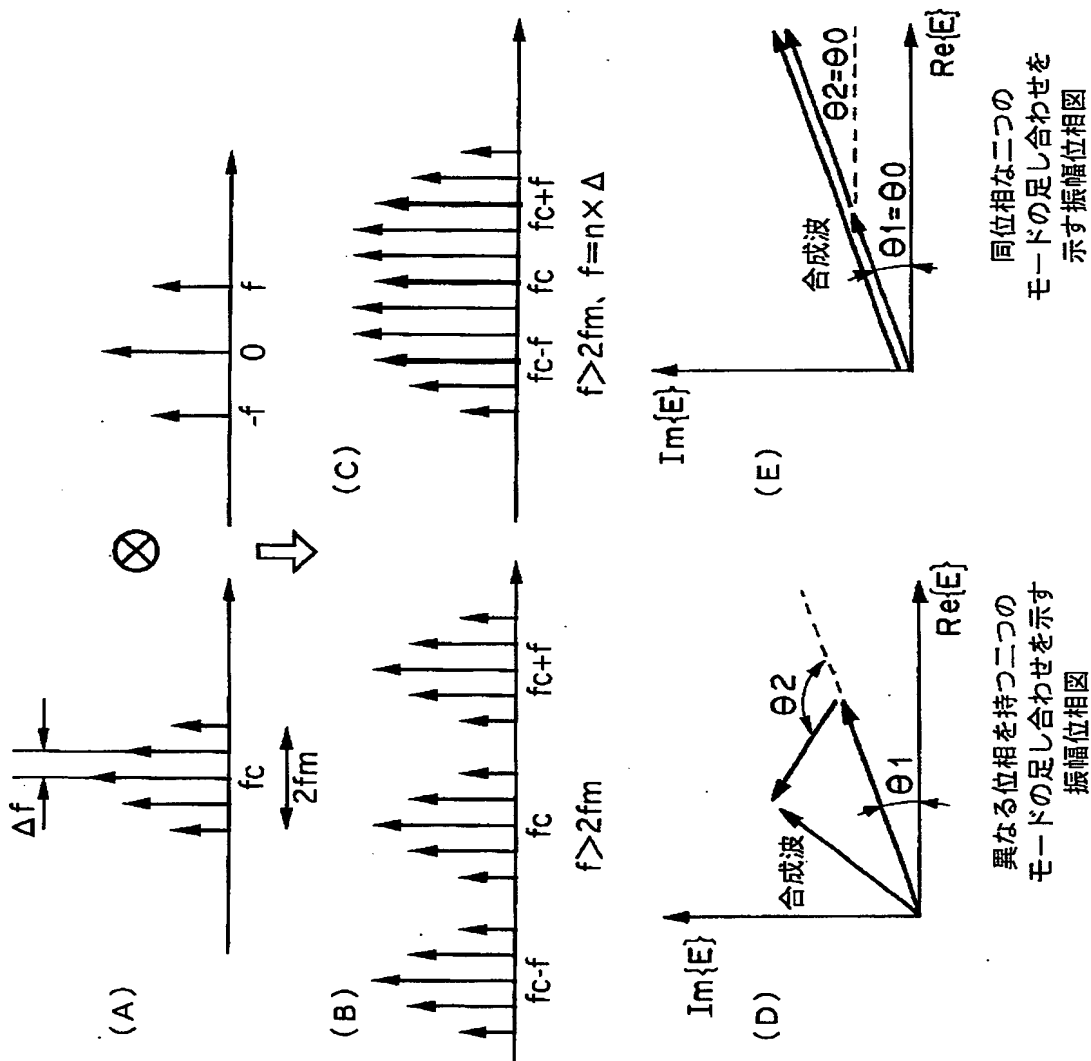
【書類名】

図面

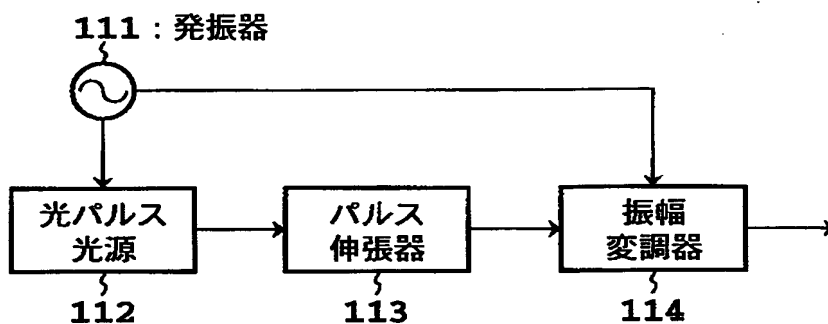
【図 1】



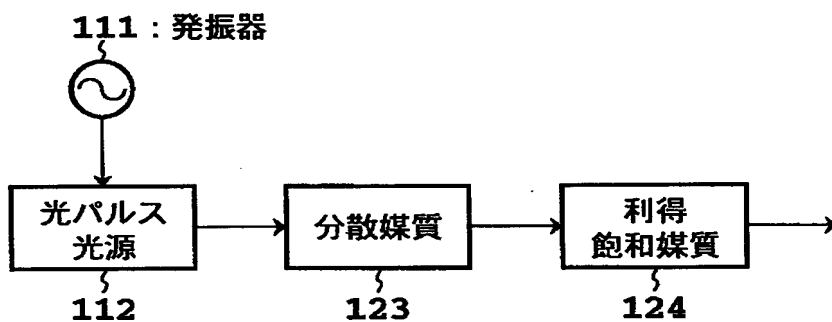
【図 2】



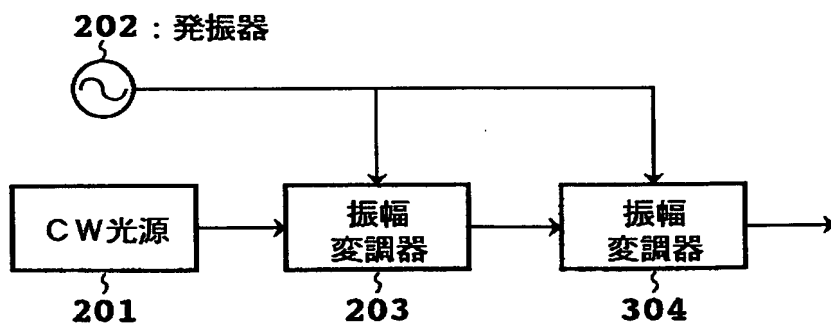
【図 3】



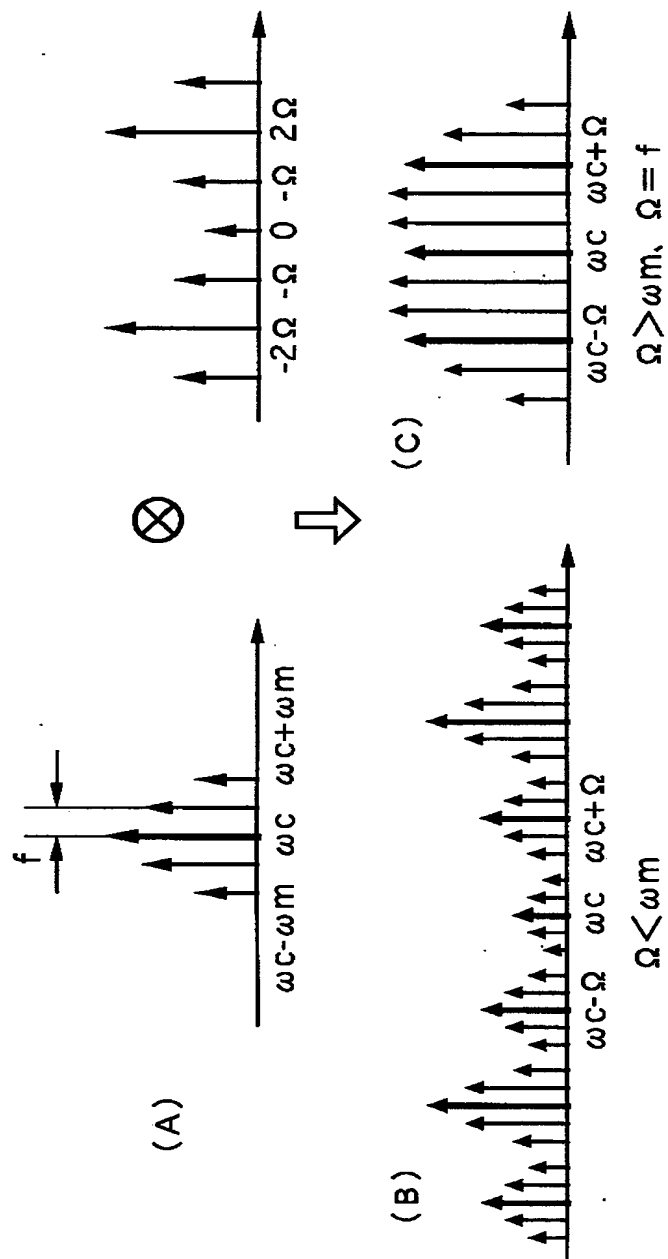
【図 4】



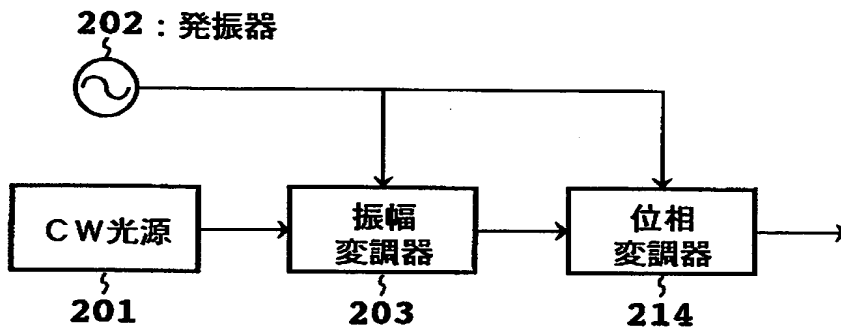
【図 5】



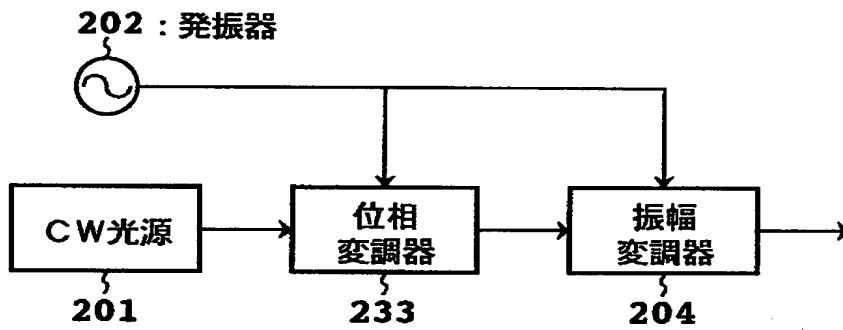
【図 6】



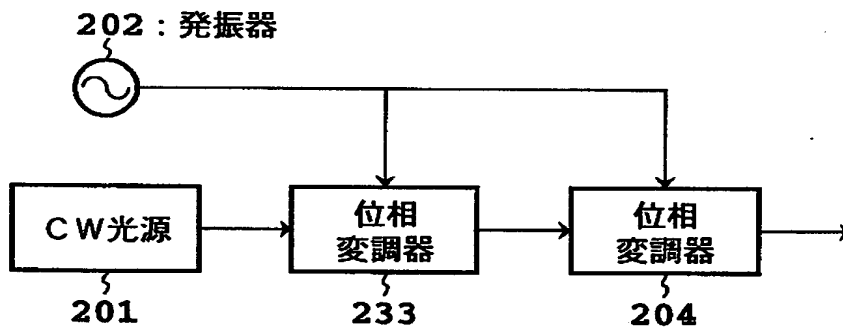
【図 7】



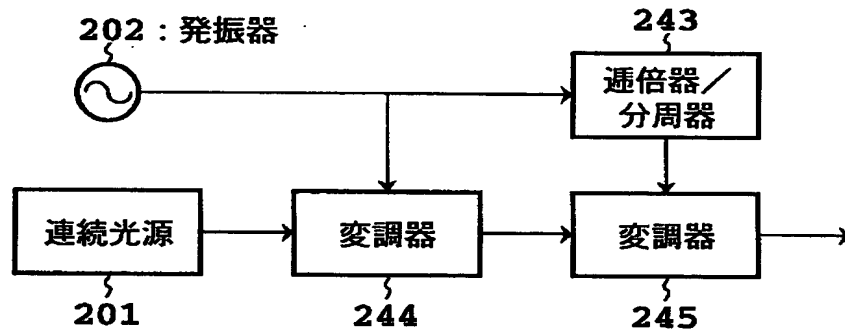
【図 8】



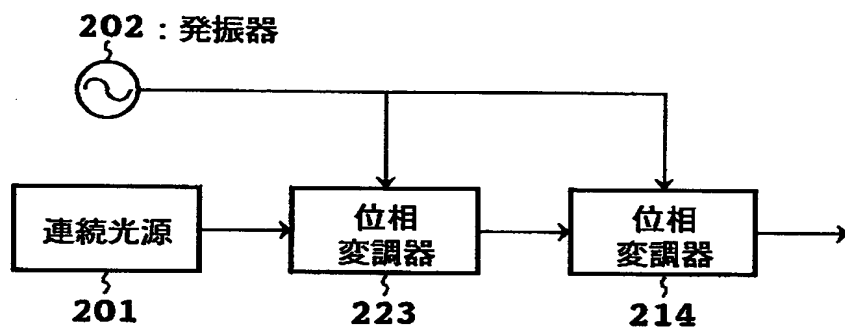
【図 9】



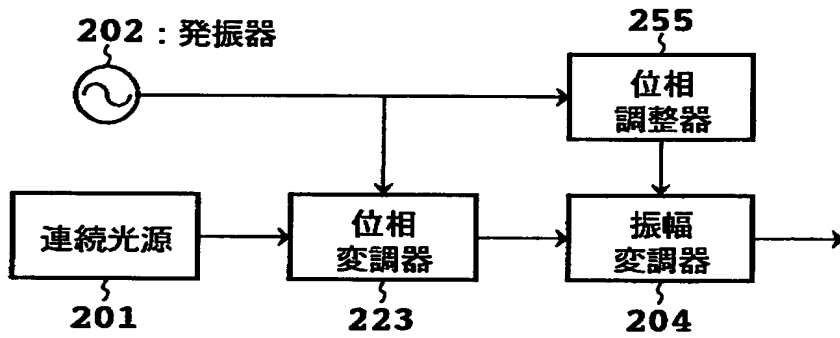
【図 10】



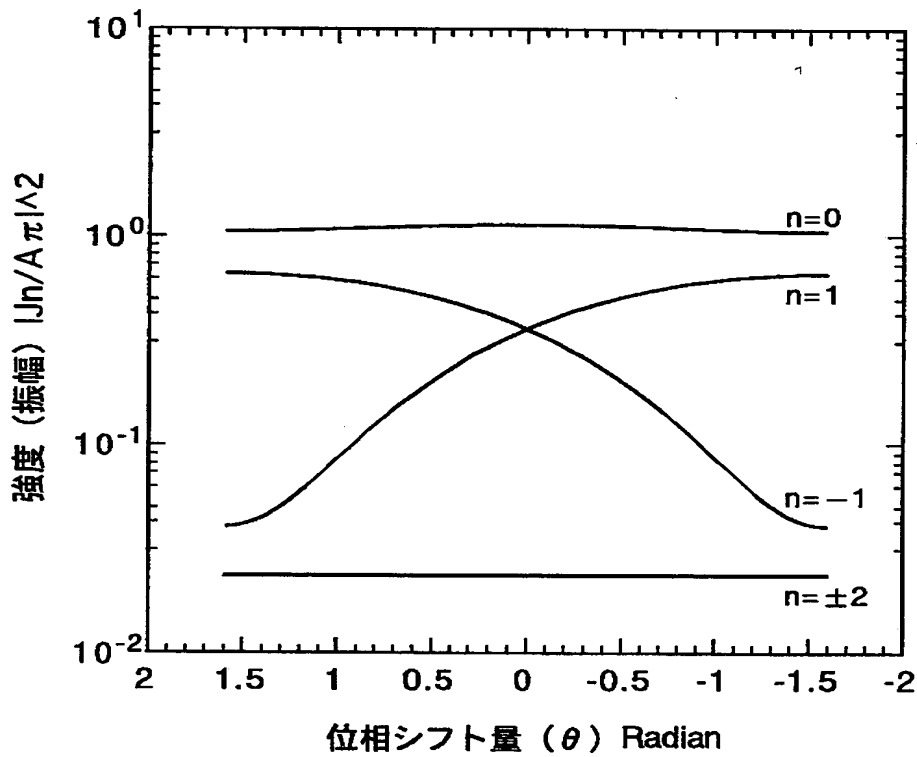
【図 11】



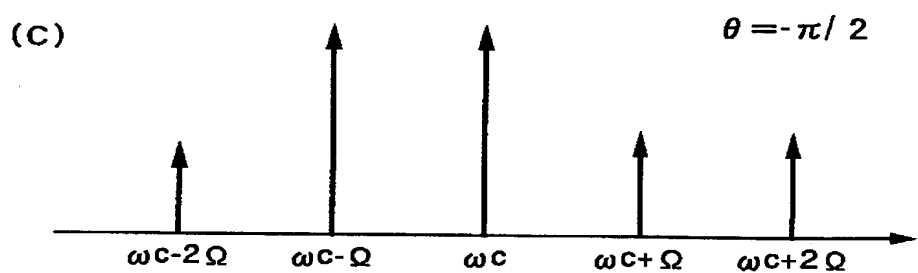
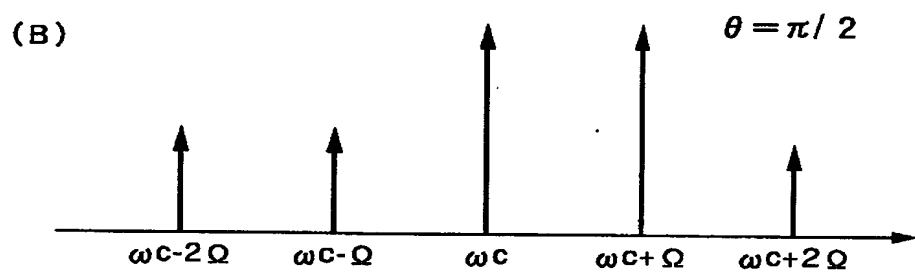
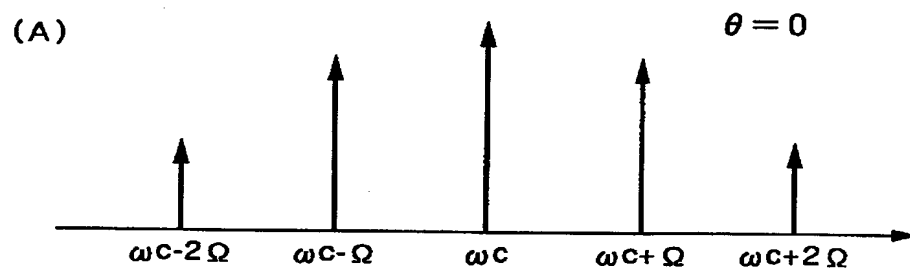
【図 1 2】



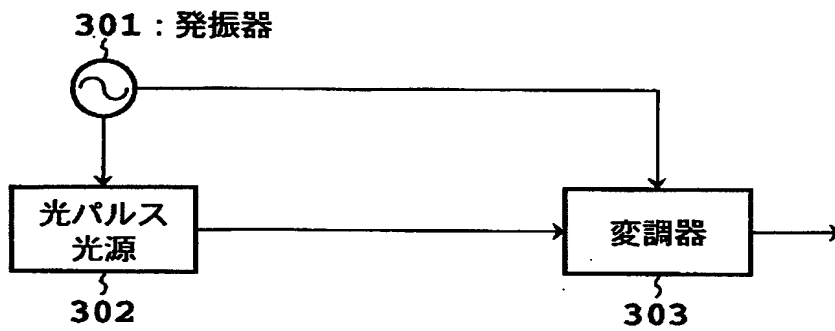
【図 1 3】



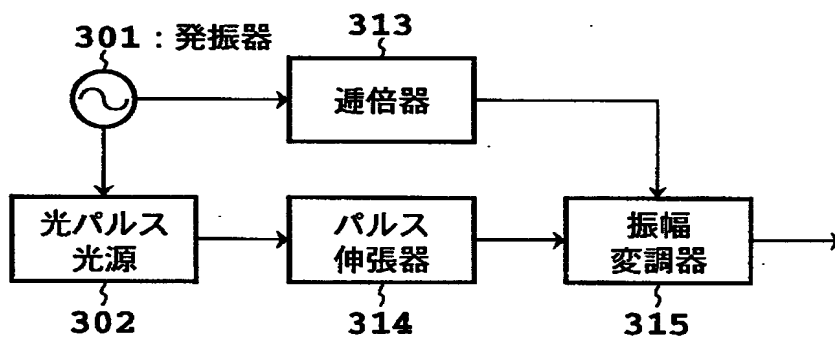
【図 14】



【図 1 5】

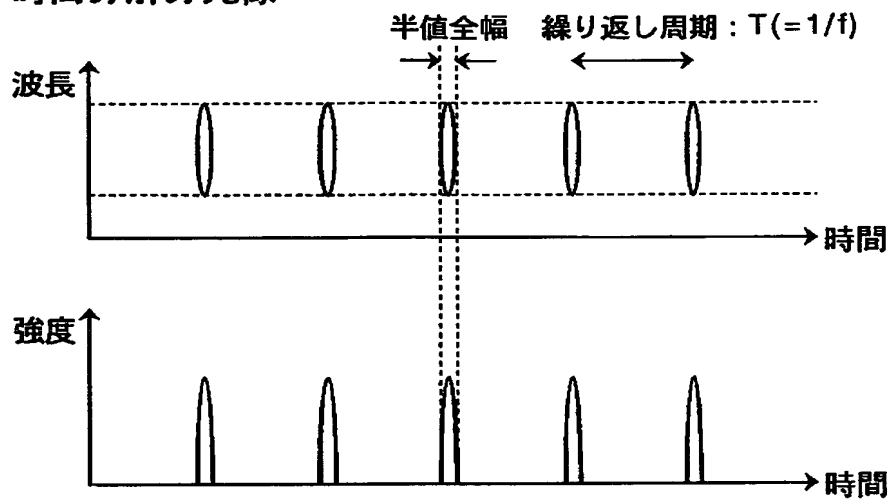


【図 1 6】

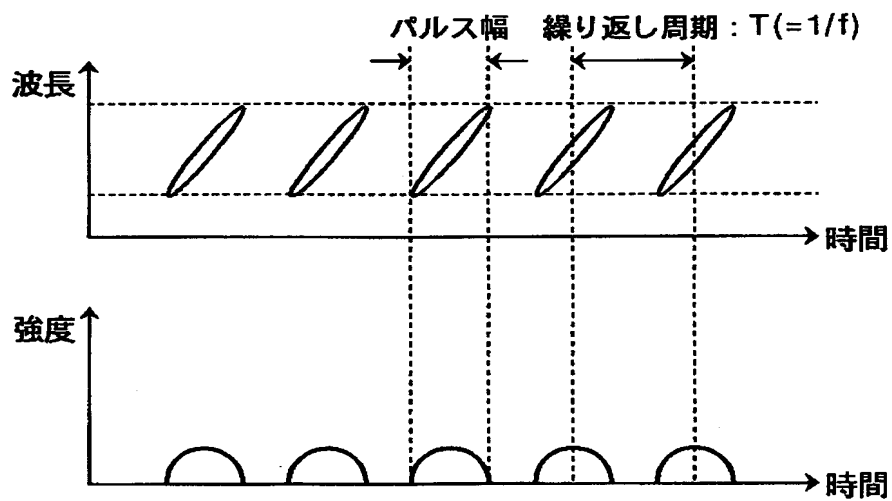


【図 17】

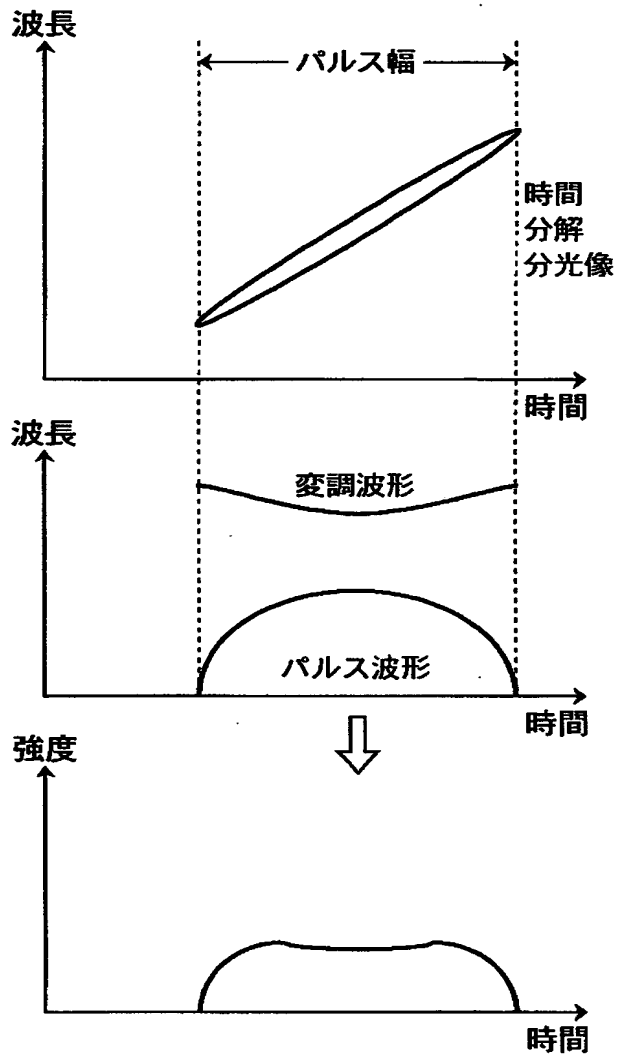
時間分解分光像



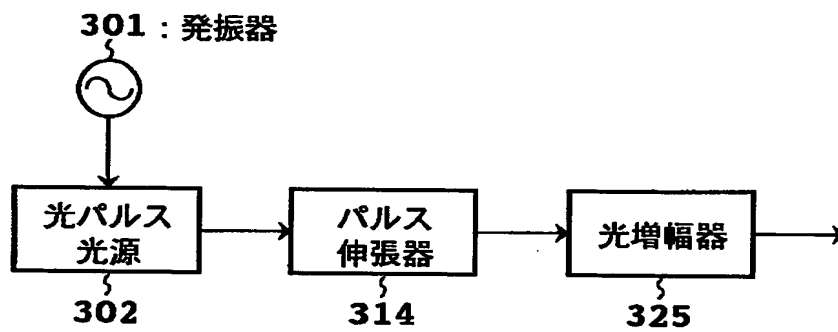
【図 18】



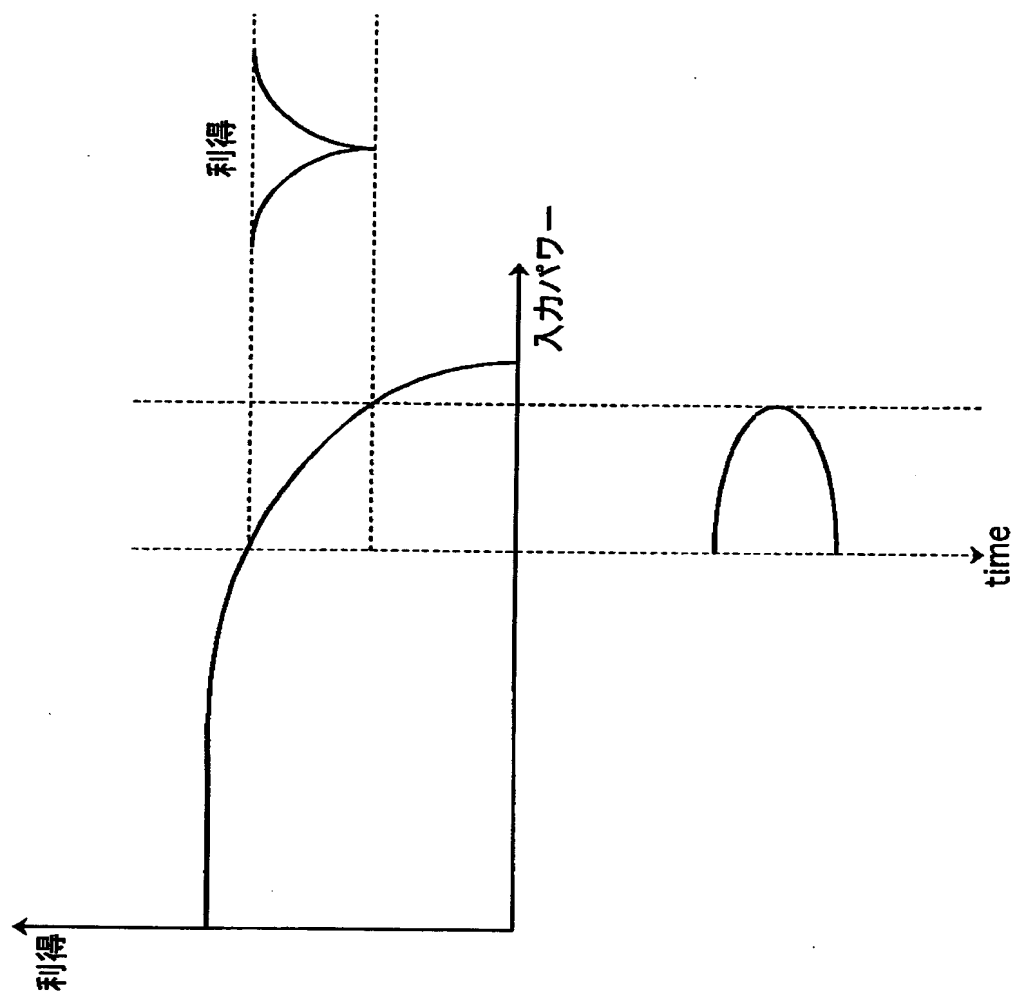
【図 19】



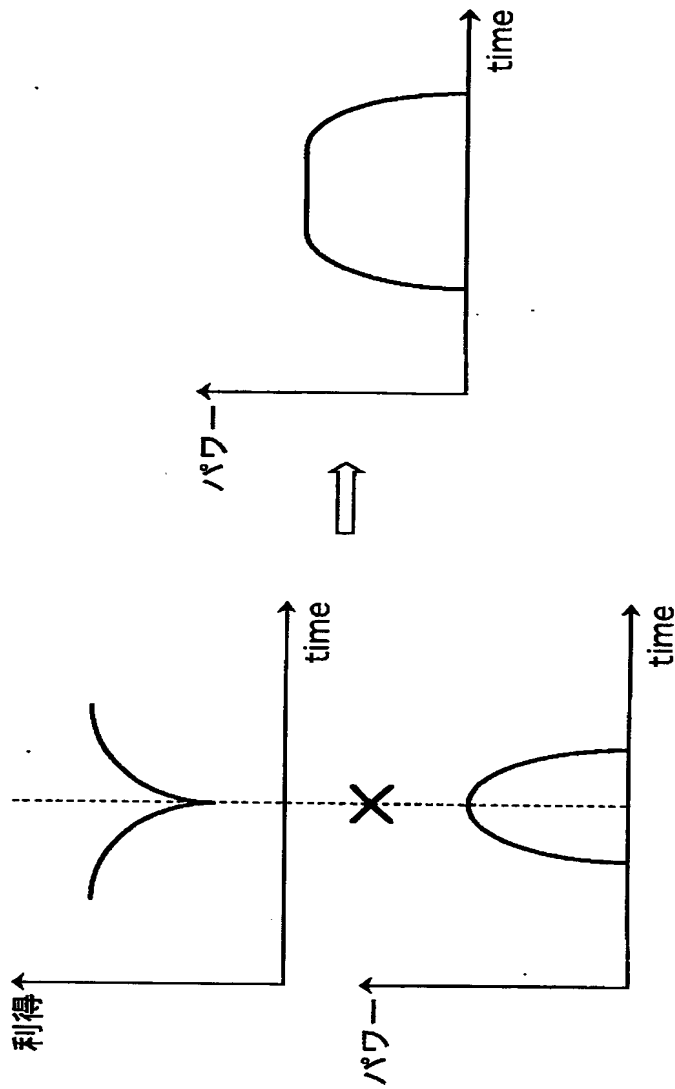
【図 2 0】



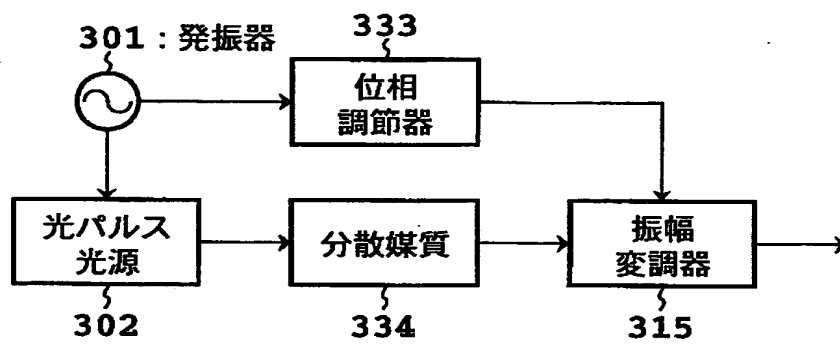
【図21】



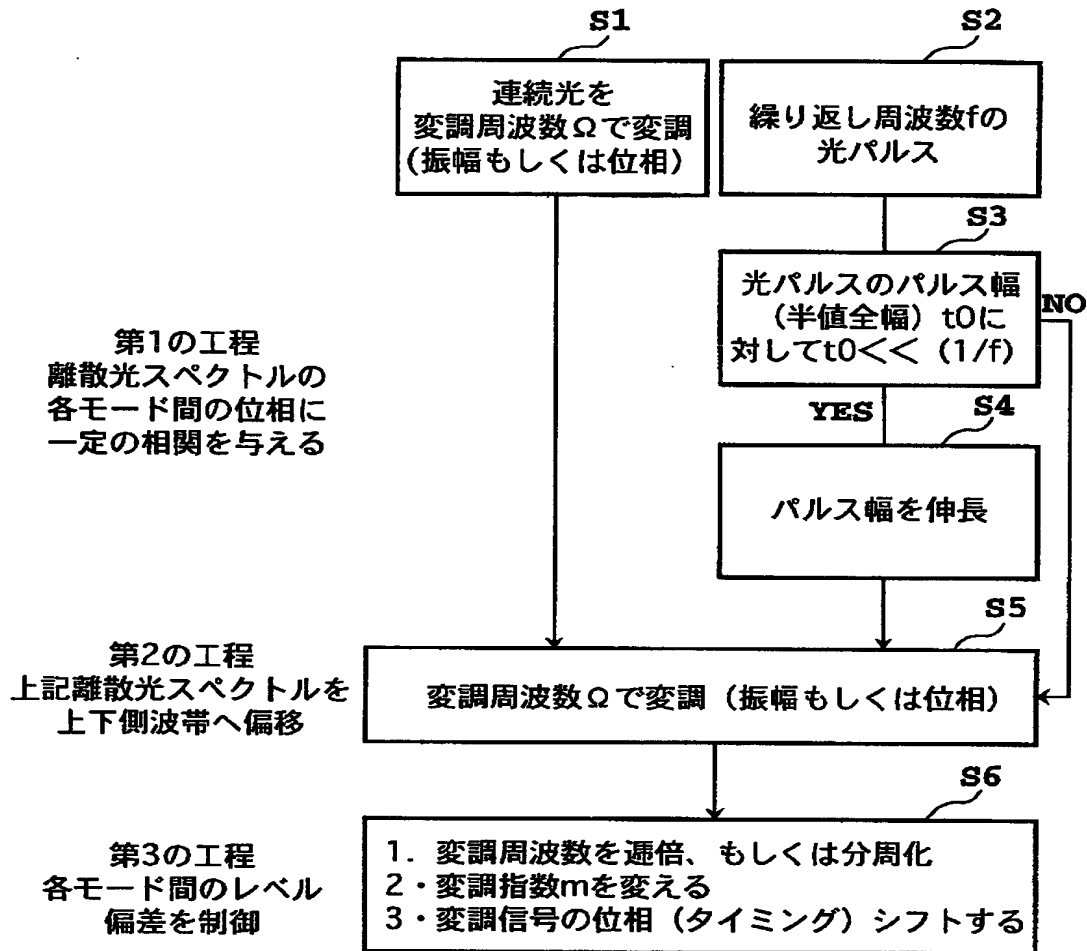
【図 22】



【図 2 3】



【図 24】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 構成が簡単かつ低コストで離散光スペクトルにおける各モード間のパワーレベル偏差の制御を可能とした光スペクトル平坦化手法の実現。

【解決手段】 単一波長を出力する連続光光源 1 0 1 と、その出力光の時間波形の振幅または位相を変調することで出力光の離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与えて出力する変調器 1 0 2 と、その変調器から出力した変調波の振幅または位相を変調することで変調波の離散光スペクトルを上下側波帯へ偏移し周波数偏移量を調節することにより各モードのパワーレベル偏差を制御（抑制）する変調器 1 0 3 とから構成する。各離散スペクトルの各モード間の位相に一定の相関を与える手段として繰り返し周波数 f で出力する光パルス光源を用いてもよい。光パルス幅 t_0 とすると $t_0 \ll (1/f)$ のときパルス幅を伸張させるパルス伸張器、伸張した光パルスを振幅／位相変調する変調器から構成してもよい。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日	1999年 7月15日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏 名	日本電信電話株式会社